

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-283484

(43) 公開日 平成7年(1995)10月27日

(51) Int.Cl.⁶

H01S 3/18

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 2 F D (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平6-93808

(22) 出願日 平成6年(1994)4月6日

(71) 出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72) 発明者 大久保 典雄

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

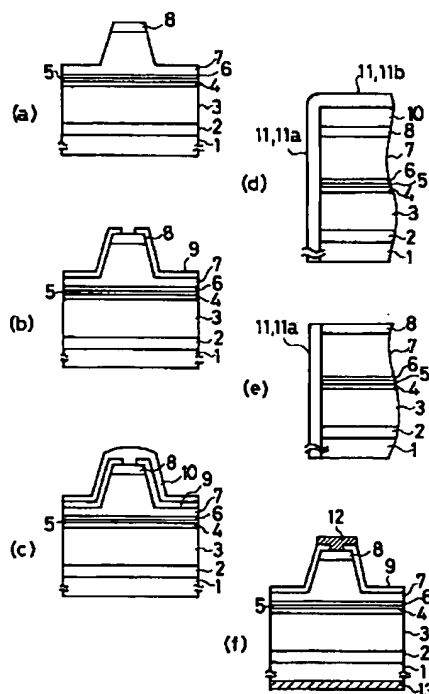
河電気工業株式会社内

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ素子の製造方法

(57) 【要約】

【目的】 共振器面上にバンドギャップを拡大する半導体層を高歩留りで形成することができる半導体レーザ素子の製造方法を提供する。

【構成】 活性層5の共振器面に活性層5よりもバンドギャップが大きい半導体層11を積層した半導体レーザ素子の製造方法において、活性層5を積層したエピタキシャル半導体ウェハの積層面上に誘電体層10を形成し、次いで、前記ウェハをへき開して共振器面を形成し、次いで、前記共振器面上にバンドギャップが活性層5よりも大きい半導体層11を積層し、次いで、エッチングにより前記誘電体層10を除去する工程を設ける。



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 活性層の共振器面に活性層よりもバンドギャップが大きい半導体層を積層した半導体レーザ素子の製造方法において、活性層を積層したエビタキシャル半導体ウェハの積層面上に第1の誘電体層、および該第1の誘電体層と独立して除去することができる第2の誘電体層を形成し、次いで、前記ウェハをへき開して共振器面を形成し、次いで、前記共振器面上にバンドギャップが活性層よりも大きい半導体層を積層し、次いで、前記第2の誘電体層を第1の誘電体層と独立して除去する工程を有することを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項2】 基板上に活性層を含む半導体層をエビタキシャル成長させ、共振器面に活性層よりもバンドギャップが大きい半導体層と反射膜を積層し、エビタキシャル成長面上および基板裏面に電極を形成した半導体レーザ素子の製造方法において、基板上に活性層を含む半導体層をエビタキシャル成長させたエビタキシャル半導体ウェハをへき開して低反射側の共振器面を形成し、次いで、前記共振器面上にバンドギャップが活性層よりも大きい半導体層を積層し、次いで、前記共振器面上に反射膜を積層し、次いで、前記反射膜をマスクとして前記共振器面上以外に積層されたバンドギャップが活性層よりも大きい半導体層をエッチングして除去する工程を有することを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、高出力駆動の半導体レーザ素子に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、GaAs系半導体レーザ素子の用途拡大にともない、高出力駆動という要求が高まっている。ところで、半導体レーザ素子の光出力を増大させていくと、そのレーザ端面には、瞬時に劣化する光学損傷や長時間動作させた時に起こる端面腐食が観察される。これは、光吸収→表面再結合電流増加→端面温度の上昇という現象のサイクルを繰り返すことが原因と考えられている。この場合、端面での光密度が増加するに従いその劣化が顕著になる。また、場合によっては、瞬間劣化を誘発し急激に発振を停止してしまう現象が観察される。そこで、半導体レーザ素子のレーザ端面におけるこのような現象を抑制するために、端面で光吸収を起こさない構造（密構造）を設けることが行われている。具体的には、端面に活性層のバンドギャップを拡大する部分を設けて、光吸収を防いで、光学損傷を防止する方法がある。このような構造をした半導体レーザ素子については、メサ形成などのレーザ共振器作製プロセスが終了した後に、MOCVD法などで共振器面に、バンドギャップが活性層よりも大きい半導体層を積層してバンドギャップを拡大する試みがなされている。

【0003】従来、半導体レーザ素子の共振器面に、バンドギャップが活性層よりも大きい半導体層を積層する工程は、以下のようにして行われていた。即ち、

1) 図3(a)に示すように、半導体基板31上に活性層を含むエビタキシャル層32を積層し、エッチングにより反射端面33を形成する。

2) 次いで、図3(b)に示すように、端面33上にバンドギャップが活性層よりも大きい半導体層34を選択成長させる。

3) 次いで、電極をエビタキシャル層32上に形成し、へき開位置Aでへき開する。

4) 最後に、端面33上に低反射膜を形成する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の共振器面にバンドギャップが活性層よりも大きい半導体層を積層する工程には、以下のような問題があった。即ち、反射端面33をエッチングで形成するため、エビタキシャル層32に対して直角で、かつ良好な反射端面33を形成することが困難であり、製造歩留りが低下するという問題があった。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は上記問題点を解決した半導体レーザ素子の製造方法を提供するもので、活性層の共振器面に活性層よりもバンドギャップが大きい半導体層を積層した半導体レーザ素子の製造方法において、活性層を積層したエビタキシャル半導体ウェハの積層面上に第1の誘電体層、および該第1の誘電体層と独立して除去することができる第2の誘電体層を形成し、次いで、前記ウェハをへき開して共振器面を形成し、次いで、前記共振器面上にバンドギャップが活性層よりも大きい半導体層を積層し、次いで、前記第2の誘電体層を第1の誘電体層と独立して除去する工程を有することを第1発明とするものである。

【0006】また、基板上に活性層を含む半導体層をエビタキシャル成長させ、共振器面に活性層よりもバンドギャップが大きい半導体層と反射膜を積層し、エビタキシャル成長面上および基板裏面に電極を形成した半導体レーザ素子の製造方法において、基板上に活性層を含む半導体層をエビタキシャル成長させたエビタキシャル半導体ウェハをへき開して低反射側の共振器面を形成し、次いで、前記共振器面上にバンドギャップが活性層よりも大きい半導体層を積層し、次いで、前記共振器面上に反射膜を積層し、次いで、前記反射膜をマスクとして前記共振器面上以外に積層されたバンドギャップが活性層よりも大きい半導体層をエッチングして除去する工程を有することを第2発明とするものである。

【0007】

【作用】第1発明のように、へき開した共振器面上に、バンドギャップが活性層よりも大きい半導体層を積層すると、該半導体層は共振器面上とともに誘電体層上にも

成長する。この際、共振器面上の前記半導体層は、共振器面を構成する半導体と化学的に結合しているが、誘電体層上の前記半導体層は、誘電体層上に単に多結晶状態で堆積しているだけで、誘電体層とは化学的に結合していない。従って、次工程でエッチングにより誘電体層を除去しようとする、エッチング液は誘電体層上に堆積した前記半導体層を容易に通って誘電体層に達し、誘電体層を除去することができる。その結果、誘電体層上の前記半導体層も除去されて、共振器面上のみにバンドギャップを拡大する半導体層を歩留りよく形成することができる。10

【0008】また、第2発明のように、共振器面上にバンドギャップが活性層よりも大きい半導体層を積層すると、この半導体層はエビタキシャル成長面上にも積層する。一方、低温で積層することができる反射膜は、エビタキシャル成長面上をマスクングして共振器面上のみに形成することができる。従って、この反射膜をマスクとして、前記共振器面上以外に積層されたバンドギャップが活性層よりも大きい半導体層をエッチングして除去することができる。このようにして、共振器面上のみにバンドギャップが活性層よりも大きい半導体層を歩留りよく形成することができる。20

【0009】

【実施例】以下、図面に示した実施例に基づいて本発明を詳細に説明する。

（実施例1）図1は、本発明にかかる半導体レーザ素子の製造方法の一実施例の工程説明図である。図1(a)～(c)、(f)は横断面図、(d)および(e)はリッジ頭部における縦断面図である。本実施例の工程は以下の通りである。即ち、

1) 先ず、面方位(100)のn-GaAs基板1上に、厚さ0.5μmのn-GaAsバッファ層2、厚さ2.0μmのn-AlGaAs下クラッド層3、厚さ50nmのGaAs下光閉じ込め層4、厚さ9nmのInGaAs歪み量子井戸層からなる活性層5、厚さ50nmのGaAs上光閉じ込め層6、厚さ2.0μmのp-AlGaAs上クラッド層7、厚さ0.5μmのp-GaAsキャップ層8を順次積層する。

2) 次いで、キャップ層8と上クラッド層7をエッチングしてリッジメサを形成する(図1(a))。

3) 次いで、注入電流狭窄のために第1誘電体層としてSiO₂層9を積層し、電極コンタクトのためにフォトリソグラフィ技術によりリッジ頭部に窓を形成する(図1(b))。

4) 次いで、SiO₂層9上にAlO_x層10を形成する(図1(c))。

5) このようにして形成されたエビタキシャルウェハを厚さ110μmまで研磨した後、へき開して(110)端面を露出させ、AlO_x層10を選択成長マスクとして、端面に活性層5よりもバンドギャップが大きいIn 50

GaP層11を成長させる(図1(d))。この際、InGaP層11はAlO_x層10上にも積層する。ここで、端面上に積層したInGaP層11aは、基板1およびその上に成長したエビタキシャル層の端面と化学的に結合している。一方、AlO_x層10上に積層したInGaP層11bは、化学的にAlO_x層10と結合せず、多結晶状態でAlO_x層10上に堆積しているだけである。

6) 次いで、AlO_x層10を強アルカリ液で除去することにより、InGaP層11のうちAlO_x層10上に積層したInGaP層11bのみを除去し、SiO₂層9およびその窓部のキャップ層8を露出させる(図1(e))。この工程において、InGaP層11bは多結晶状態で化学的にAlO_x層10と結合していないので、強アルカリ液はInGaP層11bを通して、容易にAlO_x層10に達し、AlO_x層10を溶解することができる。なお、この際、SiO₂層9やキャップ層8はアルカリ液には侵されない。

7) 次いで、エビタキシャル面側、および基板1側に、それぞれTi/Pt/Au電極12、AuGeNi/Au電極13を蒸着し、幅3μm、共振器長1mmのリッジ導波路半導体レーザ素子を製作した(図1(f))。なお、端面には、低反射側に反射率が5%の誘電体を、高反射側に反射率95%の誘電体を被覆した。

【0010】本実施例において、端面にInGaP層11を成長させる工程による歩留りの低下は、10%に抑えることができた。また、上記実施例の素子を60℃、200mWで定光出力動作試験を行った。その結果、駆動電流が50%上昇した時点で故障したとすると、故障率は室温で5000FITであった。ただし、故障率FITは、FIT=故障数/(稼働時間×稼働数)×10⁹と定義されるものである。本実施例において、端面成長プロセスを含む素子作製の総合歩留りは約70%であった。一方、端面成長を行わない歩留りは80%であり、端面成長プロセスによる歩留りの低下を10%程度に抑えることができた。このことから、本発明により、高出力、高信頼性の半導体レーザ素子を高歩留りで製作できる。

【0011】（実施例2）図2は、本発明にかかる半導体レーザ素子の製造方法の他の実施例の各工程の断面説明図である。図2(a)～(c)、(f)は横断面図、(d)および(e)はリッジ頭部における縦断面図である。本実施例の工程は以下の通りである。即ち、

1) 先ず、面方位(100)のn-GaAs基板1上に、厚さ0.5μmのn-GaAsバッファ層2、厚さ2.0μmのn-AlGaAs下クラッド層3、厚さ50nmのGaAs下光閉じ込め層4、厚さ9nmのInGaAs歪み量子井戸層からなる活性層5、厚さ50nmのGaAs上光閉じ込め層6、厚さ2.0μmのp-AlGaAs上クラッド層7、厚さ0.5μmのp-G 50

a As キャップ層8を順次エビタキシャル成長させる。
2) 次いで、キャップ層8と上クラッド層7をエッチングしてリッジメサを形成する(図2(a))。

3) 次いで、注入電流狭窄のための誘電体層としてSiO_x層9を積層し、電極コンタクトのためにフォトリソグラフィ技術によりリッジ頭部に窓を形成する(図2(b))。

4) このようにして形成されたエビタキシャルウェハを厚さ110μmまで研磨した後、例えば共振器長の2倍の幅でへき開して(110)端面を露出させ、前記端面に活性層5よりもバンドギャップが大きいInGaP層20を成長させる。この際、エビタキシャル成長面上のSiO_x層9上とリッジ頭部のキャップ層8上にはIn、GaおよびPからなる多結晶半導体層20aが積層する(図2(c))。この両側のへき開面を低反射面とし、さらに半分の共振器長にへき開した面を高反射面とする。

5) 次いで、前記端面のInGaP層20上のみに反射率5%のAl₂O₃からなる誘電体反射膜21を積層する(図2(d))。

6) 次いで、前記端面上の反射膜21およびエビタキシャル成長面上のSiO_x層9をエッチングマスクとして、SiO_x層9上とリッジ頭部を構成するキャップ層8上のIn、GaおよびPからなる多結晶半導体層20aをエッチングにより除去する(図2(e))。このエッチングには、GaAsとInGaPの選択比が大きいエッチャントを用いる。

7) 次いで、共振器長の幅にへき開し、エビタキシャル面側、および基板1側に、それぞれTi/Pt/Au電極12、AuGeNi/Au電極13を蒸着し、Al₂O₃からなる誘電体反射膜をコートした端面の反対側共振器面に、反射率を95%とするSiN_x膜とアモルファスSi膜からなる多層膜を形成する(図2(f))。

【0012】完成したリッジ導波路型半導体レーザ素子のサイズは、電流注入幅3μm、共振器長1mmである。本実施例の素子を前記実施例と同条件で定光出力動作試験を行ったところ、前記実施例と同様な好結果が得られた。また、製作歩留りも前記実施例と同様に向上した。なお、本発明は上記実施例のリッジ導波路型の半導体レーザ素子に限定されず、他の電流狭窄の手段を用いた半導体レーザ素子についても適用できることはいうまでもない。

【0013】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、活性層の共振器面に活性層よりもバンドギャップが大きい半導体層を積層した半導体レーザ素子の製造方法において、活性層を積層したエビタキシャル半導体ウェハの積層面上に第1の誘電体層、および該第1の誘電体層と独立して除去することができる第2の誘電体層を形成し、次いで、前記ウェハをへき開して共振器面を形成し、次いで、前記共振器面上にバンドギャップが活性層よりも大きい半導体層を積層し、次いで、前記第2の誘電体層を第1の誘電体層と独立して除去する工程を有するため、共振器面上にバンドギャップ拡大半導体層を高歩留りで形成することができ、高出力の半導体レーザ素子を製作することができるという優れた効果がある。また、基板上に活性層を含む半導体層をエビタキシャル成長させたエビタキシャル半導体ウェハをへき開して低反射側の共振器面を形成し、次いで、前記共振器面上にバンドギャップが活性層よりも大きい半導体層を積層し、次いで、前記共振器面上に反射膜を積層し、次いで、前記反射膜をマスクとして前記共振器面上以外に積層されたバンドギャップが活性層よりも大きい半導体層をエッチングして除去する工程を有する方法でも、同様の優れた効果を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)～(f)は本発明に係る半導体レーザ素子の製造方法の一実施例の工程説明図である。

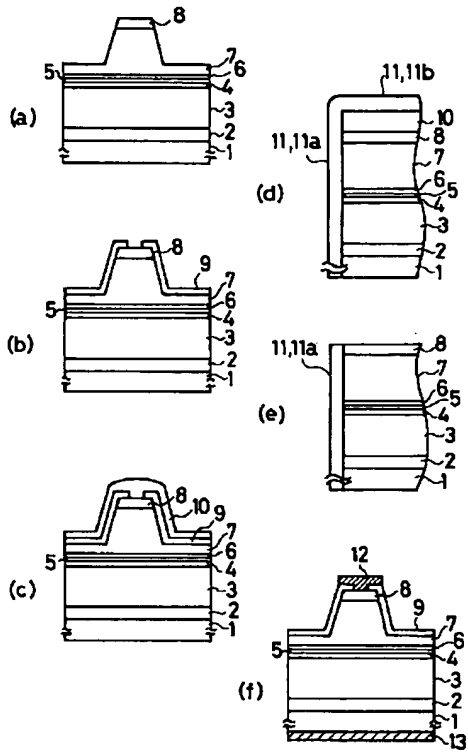
【図2】(a)～(f)は本発明に係る半導体レーザ素子の製造方法の他の実施例の工程説明図である。

【図3】(a)、(b)は従来の半導体レーザ素子の製造方法の工程説明図である。

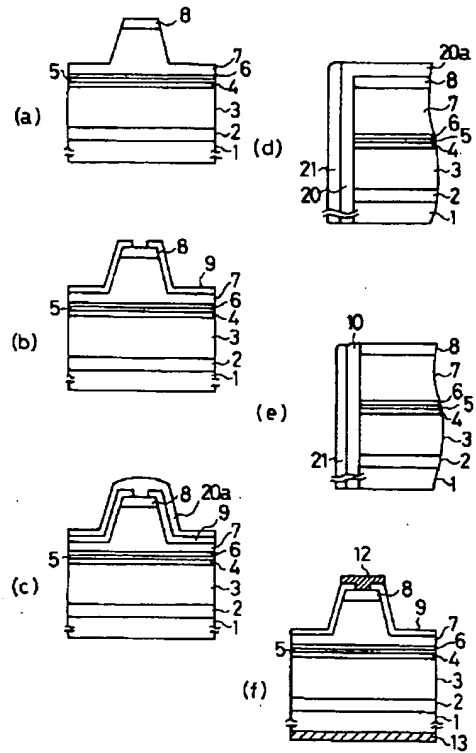
【符号の説明】

1	基板
2	バッファ層
3、7	クラッド層
4、6	光閉じ込め層
5	活性層
8	キャップ層
9	SiO _x 層
10	AlO _x 層
11、11a、11b	InGaP層
12、13	電極
20	InGaP層
20a	多結晶半導体層
21	誘電体反射膜

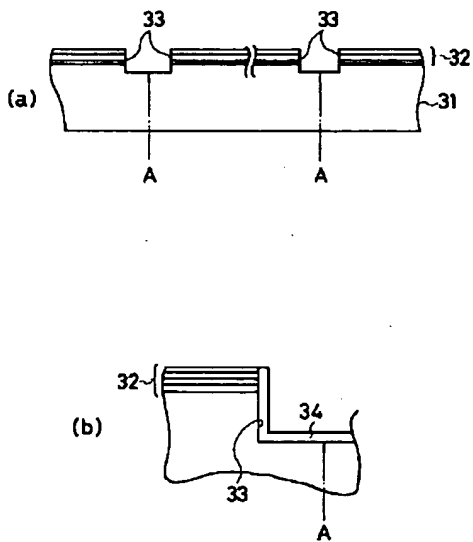
【図1】



【図2】



【図3】



Human Translation of B4

RECEIVED

OCT 01 2001

COUDERT BROTHERS
SAN FRANCISCO

Japanese Laid-open Patent

Laid-open Number: Hei 7-283484
Laid-open Date: October 27, 1995
Application Number: Hei 6-93808
Filing Date: April 6, 1994
Applicant: The Furukawa Electric Co., Ltd.

[Title of the Invention] Method of Manufacturing a Semiconductor
Laser Device

[Summary]

[Object] It is intended to provide a method of manufacturing a semiconductor laser device in which a semiconductor layer for expanding a bandgap can be formed on a cavity surface with high yield.

[Structure] In a method of manufacturing a semiconductor laser device with a semiconductor layer 11 having a larger bandgap than that of an active layer 5 stacked on a cavity surface of the active layer 5, there are provided steps of forming a dielectric layer 10 on a stack surface of an epitaxial semiconductor wafer on which the active layer 5 is stacked, then forming a cavity surface by cleaving the wafer, subsequently, stacking the semiconductor layer 11 having a larger bandgap than that of the active layer 5 on the cavity surface, and then removing the dielectric layer 10 by etching.

[Claims]

[Claim 1] A method of manufacturing a semiconductor laser device with a semiconductor layer having a larger bandgap than that of an active layer stacked on a cavity surface of the active layer, the method comprising steps of: forming a first dielectric layer and a second dielectric layer that can be removed independently of the first dielectric layer, on a stack surface of an epitaxial semiconductor wafer with the active layer stacked thereon; then forming a cavity surface by cleaving the wafer; subsequently, stacking the semiconductor layer with a larger bandgap than that of the active layer, on the cavity surface; and then removing the second dielectric layer independently of the first dielectric layer.

[Claim 2] A method of manufacturing a semiconductor laser device obtained by allowing semiconductor layers including an active layer to grow epitaxially on a substrate, stacking a semiconductor layer with a larger bandgap than that of the active layer and a reflecting film on a cavity surface, and forming electrodes on an epitaxial growth surface and a rear surface of the substrate, the method comprising steps of: forming the cavity surface on a low-reflectivity side by cleaving an epitaxial semiconductor wafer obtained by allowing the semiconductor layers including the active layer to grow epitaxially on the substrate; then stacking the semiconductor layer with a larger bandgap than that of the active layer on the cavity surface; subsequently, stacking the reflecting

film over the cavity surface; then removing the semiconductor layer with a larger bandgap than that of the active layer that is stacked on a region other than the cavity surface over which the reflecting film is stacked, by etching using the reflecting film as a mask.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of Industrial Application] The present invention relates to a high-power-drive semiconductor laser device.

[0002]

[Prior Art] Recently, with increasing intended use of GaAs semiconductor laser devices, demands for high-power drive have been increasing. However, when optical power of a semiconductor laser device is increased, an optical damage of instantaneous deterioration or facet corrosion caused in a long-time operation is observed at a laser facet. This is considered to be caused by a repetition of a phenomenal cycle of optical absorption → increase in surface recombination current → increase in facet temperature. In this case, the deterioration becomes more pronounced as optical density increases at the facet. Furthermore, in some cases, a phenomenon may be observed in which the instantaneous deterioration is induced and oscillation stops abruptly. Hence, in order to suppress such phenomena caused at the laser facet of a semiconductor laser device, it has been practiced to provide a structure in which no optical absorption is caused at the facet (a window structure).

Specifically, there is a method in which a portion for expanding a bandgap of an active layer is provided at a facet to avoid optical absorption and to thereby prevent optical damages. With respect to a semiconductor laser device with such a configuration, it has been attempted to expand a bandgap by stacking a semiconductor layer with a larger bandgap than that of an active layer on a cavity surface by an MOCVD method or the like after completion of a laser cavity manufacturing process like mesa formation.

[0003] Conventionally, the step of stacking a semiconductor layer with a larger bandgap than that of an active layer on a cavity surface of a semiconductor laser device has been carried out as follows.

That is:

- 1) As shown in FIG. 3(a), an epitaxial layer 32 including an active layer is stacked on a semiconductor substrate 31 and reflecting facets 33 are formed by etching.
- 2) Next, as shown in FIG. 3(b), a semiconductor layer 34 with a larger bandgap than that of the active layer is allowed to grow selectively on the facets 33.
- 3) Next, an electrode is formed on the epitaxial layer 32 and then cleavage is carried out at a cleaving position A.
- 4) Eventually, a low-reflectivity film is formed on the facets 33.

[0004]

[Problems to be solved by the Invention] However, the conventional step of stacking a semiconductor layer with a larger bandgap than

that of an active layer on a cavity surface had the following problem. That is, there was a problem in that since the reflecting facets 33 are formed by etching, it was difficult to form the reflecting facets 33 that were excellent and were orthogonal to the epitaxial layer 32 and thus manufacturing yield decreased.

[0005]

[Means for solving the Problem] The present invention is intended to provide a method of manufacturing a semiconductor laser device by which the above-mentioned problem is solved, and includes a first invention. The first invention is directed to a method of manufacturing a semiconductor laser device with a semiconductor layer having a larger bandgap than that of an active layer stacked on a cavity surface of the active layer. This method includes steps of: forming a first dielectric layer and a second dielectric layer that can be removed independently of the first dielectric layer, on a stack surface of an epitaxial semiconductor wafer in which the active layer is stacked; then forming a cavity surface by cleaving the wafer; subsequently, stacking the semiconductor layer with a larger bandgap than that of the active layer on the cavity surface; and then removing the second dielectric layer independently of the first dielectric layer.

[0006] A second invention is directed to a method of manufacturing a semiconductor laser device obtained by allowing semiconductor layers including an active layer to grow epitaxially on a substrate,

stacking a semiconductor layer with a larger bandgap than that of the active layer and a reflecting film on a cavity surface, and forming electrodes on an epitaxial growth surface and a rear surface of the substrate. This method includes steps of: forming the cavity surface on a low-reflectivity side by cleaving an epitaxial semiconductor wafer with the semiconductor layers including the active layer allowed to grow epitaxially on the substrate; then stacking the semiconductor layer with a larger bandgap than that of the active layer on the cavity surface; subsequently, stacking the reflecting film over the cavity surface; and then removing the semiconductor layer with a larger bandgap than that of the active layer that is stacked in a region other than the cavity surface, by etching using the reflecting film as a mask.

[0007]

[Effect] As in the first invention, when the semiconductor layer with a larger bandgap than that of the active layer is stacked on the cavity surface obtained by cleavage, the semiconductor layer grows not only on the cavity surface but also on the dielectric layer. In this case, the semiconductor layer located on the cavity surface is chemically bonded to a semiconductor composing the cavity surface. However, the semiconductor layer located on the dielectric layer is merely deposited on the dielectric layer in a polycrystalline state and is not chemically bonded to the dielectric layer. Hence, when it is intended to remove the

dielectric layer by etching in the next step, an etchant easily passes through the semiconductor layer deposited on the dielectric layer to reach the dielectric layer and thus the dielectric layer can be removed. As a result, the semiconductor layer on the dielectric layer is also removed, whereby the semiconductor layer for expanding a bandgap can be formed on the cavity surface alone with high yield.

[0008] Further, as in the second invention, when the semiconductor layer with a larger bandgap than that of the active layer is stacked on the cavity surface, this semiconductor layer also is stacked on the epitaxial growth surface. On the other hand, a reflecting film that can be stacked at low temperatures can be formed over the cavity surface alone with the epitaxial growth surface being masked. Hence, using this reflecting film as a mask, the semiconductor layer with a larger bandgap than that of the active layer that is stacked on a region other than the cavity surface can be removed by etching. Thus, the semiconductor layer with a larger bandgap than that of the active layer can be formed on the cavity surface alone with high yield.

[0009]

[Embodiment] The present invention is described in detail based on the embodiment shown in the drawings as follows.

(Embodiment 1) FIG.1 shows drawings for explaining steps in accordance with an embodiment of a method of manufacturing a

semiconductor laser device according to the present invention. FIGS. 1(a) to (c) and (f) show transverse sectional views, and (d) and (e) show longitudinal sectional views taken in a ridge top portion. The steps in the present embodiment are described as follows. That is:

- 1) Initially, an n-GaAs buffer layer 2 with a thickness of 0.5 μm , an n-AlGaAs lower cladding layer 3 with a thickness of 2.0 μm , a GaAs lower optical confinement layer 4 with a thickness of 50 nm, an active layer 5 formed of an InGaAs strained quantum well layer with a thickness of 9 nm, a GaAs upper optical confinement layer 6 with a thickness of 50 nm, a p-AlGaAs upper cladding layer 7 with a thickness of 2.0 μm , and a p-GaAs cap layer 8 with a thickness of 0.5 μm are stacked sequentially on an n-GaAs substrate 1 of orientation (100).
- 2) Next, a ridge mesa is formed by etching of the cap layer 8 and the upper cladding layer 7 (FIG. 1(a)).
- 3) Subsequently, an SiO_2 layer 9 is stacked as a first dielectric layer for injection current constriction, and a window is formed in a ridge top portion by a photolithographic technique for electrode contact (FIG. 1(b)).
- 4) Next, an AlO_x layer 10 is formed on the SiO_2 layer 9 (FIG. 1(c)).
- 5) After an epitaxial wafer thus formed is ground to have a thickness of 110 μm , the epitaxial wafer is cleaved and thus facets of orientation (110) are exposed, and then an InGaP layer 11 with a

larger bandgap than that of the active layer 5 is allowed to grow on the facets using the AlO_x layer 10 as a selective growth mask (FIG. 1(d)). In this case, the InGaP layer 11 is also stacked on the AlO_x layer 10. An InGaP layer 11a stacked on the facets is chemically bonded to the edges of the substrate 1 and the epitaxial layers that have grown thereon. On the other hand, an InGaP layer 11b stacked on the AlO_x layer 10 is not chemically bonded to the AlO_x layer 10 but is merely deposited on the AlO_x layer 10 in a polycrystalline state.

6) Next, through removal of the AlO_x layer 10 with a strong alkaline solution, only the InGaP layer 11b stacked on the AlO_x layer 10 of the InGaP layer 11 is removed and thus the SiO_x layer 9 and the cap layer 8 in its window portion are exposed (FIG. 1(e)). In this step, since the InGaP layer 11b is in the polycrystalline state and is not chemically bonded to the AlO_x layer 10, the strong alkaline solution passes through the InGaP layer 11b to reach the AlO_x layer 10 easily and thus the AlO_x layer 10 can be dissolved. Note that, in this case, the SiO_x layer 9 and the cap layer 8 are not affected by the alkaline solution.

7) Next, a Ti/Pt/Au electrode 12 and an AuGeNi/Au electrode 13 are deposited on the epitaxial surface side and the substrate 1 side, respectively, and thus a ridge-waveguide semiconductor laser device was manufactured that had a width of 3 μm and a cavity length of 1 mm (FIG. 1(f)). The facets on the low-reflectivity side and the

high-reflectivity side are covered with a dielectric having a reflectivity of 5% and a dielectric having a reflectivity of 95%, respectively.

[0010] In the present embodiment, the decrease in yield caused by the step of allowing the InGaP layer 11 to grow on the facets was suppressed to be 10%. In addition, the device of the above-mentioned embodiment was subjected to a constant optical power performance test at 60°C and 200 mW. As a result, a failure rate was 5000FIT at room temperature provided that the device was damaged at a point of time when the driving current was increased by 50%. In this case, the failure rate FIT is defined as $\text{FIT} = \frac{\text{the number of failures}}{(\text{operating time} \times \text{the number of operations})} \times 10^9$. In the present embodiment, a total yield in the device manufacture including the process of growth on the facets was about 70%. On the other hand, the yield in the case of including no growth on the facets was 80%. Thus, the decrease in yield caused by the process of growth on the facets was suppressed to be about 10%. From this result, according to the present invention, a highly-reliable and high-power semiconductor laser device can be manufactured with high yield.

[0011] (Embodiment 2) FIG. 2 shows sectional views for explaining respective steps in another embodiment of a method of manufacturing a semiconductor laser device according to the present invention. FIGS. 2(a) to (c) and (f) show transverse sectional views, and (d)

and (e) show longitudinal sectional views taken in a ridge top portion. The steps in the present embodiment are described as follows. That is:

1) Initially, an n-GaAs buffer layer 2 with a thickness of 0.5 μm , an n-AlGaAs lower cladding layer 3 with a thickness of 2.0 μm , a GaAs lower optical confinement layer 4 with a thickness of 50 nm, an active layer 5 formed of an InGaAs strained quantum well layer with a thickness of 9 nm, a GaAs upper optical confinement layer 6 with a thickness of 50 nm, a p-AlGaAs upper cladding layer 7 with a thickness of 2.0 μm , and a p-GaAs cap layer 8 with a thickness of 0.5 μm are allowed sequentially to grow epitaxially on an n-GaAs substrate 1 of orientation (100).

2) Next, a ridge mesa is formed by etching of the cap layer 8 and the upper cladding layer 7 (FIG. 2(a)).

3) Subsequently, an SiO_x layer 9 is stacked as a dielectric layer for injection current constriction, and a window is formed in a ridge top portion by a photolithographic technique for electrode contact (FIG. 2(b)).

4) After an epitaxial wafer thus formed is ground to have a thickness of 110 μm , the epitaxial wafer is cleaved and thus portions having a width that is, for instance, twice of the cavity length are provided, and facets of orientation (110) are exposed. Then, an InGaP layer 20 with a larger bandgap than that of the active layer 5 is allowed to grow on the facets. In this case, a polycrystalline

semiconductor layer 20a made of In, Ga, and P is stacked on the SiO_x layer 9 located on the epitaxial growth surface and the cap layer 8 in the ridge top portion (FIG. 2(c)). The cleavage surfaces on both sides are used as low-reflectivity surfaces, and surfaces obtained through further cleavage providing portions with a width of the cavity length that is half the width of the portions obtained through initial cleavage are used as high-reflectivity surfaces.

5) Next, a dielectric reflecting film 21 made of Al_2O_3 with a reflectivity of 5% is stacked only on the InGaP layer 20 on the facets (FIG. 2(d)).

6) Next, the polycrystalline semiconductor layer 20a made of In, Ga, and P on the SiO_x layer 9 and the cap layer 8 composing the ridge top portion is removed by etching using the reflecting film 21 located over the facets and the SiO_x layer 9 on the epitaxial growth surface as etching masks (FIG. 2(e)). In this etching, an etchant with a high selective ratio between GaAs and InGaP is used.

7) Next, cleavage is conducted to provide portions with a width of the cavity length, and a Ti/Pt/Au electrode 12 and an AuGeNi/Au electrode 13 are deposited on the epitaxial surface side and the substrate 1 side, respectively, and a multilayer film formed of an SiN_x film with a reflectivity of 95% and an amorphous Si film is formed on cavity surfaces on the opposite side to the facets coated with the dielectric reflecting film made of Al_2O_3 (FIG. 2(f)).

[0012] The ridge-waveguide-type semiconductor laser device thus

completed had a size including a current injection width of 3 μm and a cavity length of 1 mm. The device of the present embodiment was subjected to the constant optical power performance test under the same conditions as those in the embodiment described before, whereby a good result similar to that in the embodiment described before was obtained. In addition, the manufacture yield also was improved as in the embodiment described before. The present invention is not limited to the ridge-waveguide-type semiconductor laser device of the above-mentioned embodiment. It is understood that the present invention can be applied to a semiconductor laser device with another means for current constriction.

[0013]

[Effects of the Invention] As described above, according to the present invention, a method of manufacturing a semiconductor laser device with a semiconductor layer having a larger bandgap than that of an active layer stacked on a cavity surface of the active layer includes steps of: forming a first dielectric layer and a second dielectric layer that can be removed independently of the first dielectric layer, on the stack surface of an epitaxial semiconductor wafer in which the active layer is stacked; then forming a cavity surface through cleavage of the wafer; subsequently, stacking a semiconductor layer with a larger bandgap than that of the active layer, on the cavity surface; and then removing the second dielectric layer independently of the first dielectric layer.

Therefore, there is provided an excellent effect that the semiconductor layer for expanding a bandgap can be formed on the cavity surface with high yield and thus a high-power semiconductor laser device can be manufactured. A similar excellent effect also can be obtained by a method including steps of: forming a cavity surface on a low-reflectivity side through cleavage of an epitaxial semiconductor wafer obtained by allowing semiconductor layers including an active layer to grow epitaxially on a substrate; then stacking a semiconductor layer with a larger bandgap than that of the active layer on the cavity surface; subsequently, stacking a reflecting film over the cavity surface; and then removing the semiconductor layer with a larger bandgap than that of the active layer that is stacked on a region other than the cavity surface, by etching using the reflecting film as a mask.

[Brief Description of the Drawings]

[FIG. 1] FIGS. 1(a) to (f) are drawings for explaining steps in an embodiment of a method of manufacturing a semiconductor laser device according to the present invention.

[FIG. 2] FIGS. 2(a) to (f) are drawings for explaining steps in another embodiment of a method of manufacturing a semiconductor laser device according to the present invention.

[FIG. 3] FIGS. 3(a) and (b) are drawings for explaining steps in a conventional method of manufacturing a semiconductor laser device.

[Description of Reference Symbols]

1	Substrate
2	Buffer Layer
3, 7	Cladding Layer
4, 6	Optical Confinement Layer
5	Active Layer
8	Cap Layer
9	SiO ₂ Layer
10	AlO _x Layer
11, 11a, 11b	InGaP Layer
12, 13	Electrode
20	InGaP Layer
20a	Polycrystalline Semiconductor Layer
21	Dielectric Reflecting Film

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.